

УДК 532.546:534.1

ВОЛНЫ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОЛОСТИ В НАСЫЩЕННОЙ ЖИДКОСТЬЮ ПОРИСТОЙ СРЕДЕ

© 2011 г.

А.А. Губайдуллин, О.Ю. Болдырева

Тюменский филиал Института теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича СО РАН

timms@tmn.ru

Поступила в редакцию 16.06.2011

Исследовано распространение волн вдоль заполненной жидкостью цилиндрической полости в пористой среде. Рассмотрены случаи ньютоновской и неньютоновской степенной жидкостей. Показано, что в случае псевдопластической жидкости наблюдается меньшее затухание и большая глубина проникновения возмущений, чем для дилагантной жидкости.

Ключевые слова: пористая среда, неньютоновская жидкость, возмущение.

Введение

Изучение свойств акустических поверхностных волн актуально в связи с многочисленными приложениями, например, для определения свойств упругих материалов. В частности, в геофизике поверхностные акустические волны используются для определения характеристик водонасыщенных и углеводородных пластов, когда влиянием флюида на распространение волн нельзя пренебречь. В традиционных акустических исследованиях скважин по первому вступлению акустического импульса определяется пористость породы, по всему цугу волн определяются ее механические свойства, а одно из последующих вступлений, волна Стоунли (также называемая трубной волной), используется для определения проницаемости. Для правильной интерпретации акустических каротажных диаграмм требуется глубокое понимание влияния свойств пород (пористости, проницаемости, литологического состава, насыщенности углеводородами) на распространение волн в цилиндрическом волноводе, который представляет собой скважина. Актуальной также представляется задача о распространении волн вдоль в цилиндрическом волноводе в случае насыщения окружающего пористого пространства неньютоновской жидкостью.

В большинстве работ [1–10] по исследованию распространения волн в цилиндрическом волноводе с непроницаемыми или проницаемыми стенками рассмотрение ограничивается случаем низких частот, когда длина волны превышает диаметр полости. Обычно рассматривается лишь случай насыщения окружающего пористого пространства

ньютоновской жидкостью. В настоящем теоретическом исследовании методами механики многофазных систем [11–13] рассмотрено распространение волн в широком частотном диапазоне вдоль цилиндрической полости, окруженной проницаемой пористой средой, насыщенной неньютоновской степенной жидкостью.

Результаты расчетов

Двумерное движение пористой среды и жидкости рассчитывалось по схеме Лакса – Вендрофа [14, 15]. Рассчитывалось распространение возмущения от точечного источника, расположенного на оси симметрии канала. Проведено сравнение скорости распространения, затухания волн в канале, а также глубины проникновения возмущений в окружающую пористую среду со случаем ньютоновской жидкости. В качестве иллюстрации на рис. 1 показаны изменение давления в нескольких точках на границе полости, а также изменение давления вдоль радиальной координаты для нескольких моментов времени. В данных расчетах различаются лишь показатели степени для неньютоновской ($\nu = 0.33$ и $\nu = 1.3$) и ньютоновской жидкости ($\nu = 1$). Из верхних рисунков видно, что в случае степенной неньютоновской жидкости скорость распространения волн вдоль полости остается такой же, как и для ньютоновской жидкости. Сравнение нижних рисунков показывает, что в случае насыщения полости и окружающего пространства псевдопластической жидкостью наблюдаются меньшее затухание и большая глубина проникновения возмущений, чем для дилагантной жидкости.

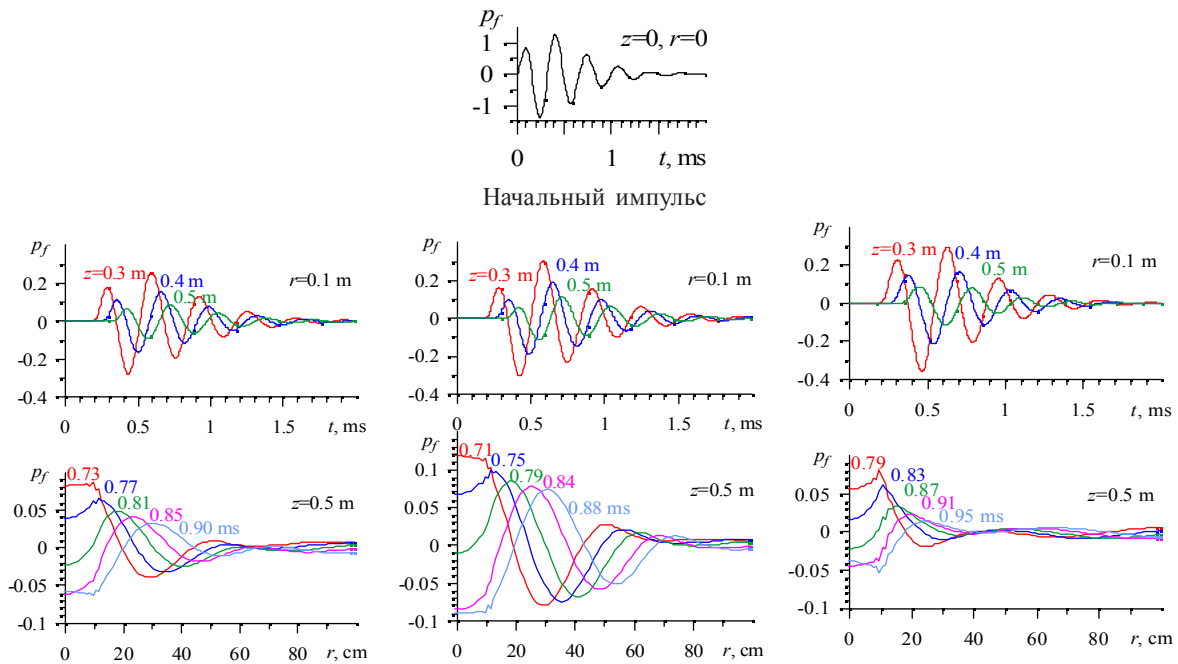


Рис. 1

Рисунок 1 иллюстрирует изменение давления в жидкости на границе полости ($r = 0.1$ м) при $z = 0.3, 0.4, 0.5$ м, а также распределение давления внутри полости и в окружающем пористом пространстве при $z = 0.5$ м для указанных моментов времени. Пористая среда – кварцевый песок, пористость – 0.33, характерный размер зерен – 0.1 мм, радиус полости – 0.1 м, жидкость – ньютоновская (вода, $\nu = 1$, слева), псевдопластическая ($\nu = 0.33$, в центре), или дилатантная ($\nu = 1.3$, справа). Начальный импульс основной частоты 3 кГц показан сверху.

Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ РФ (грант НШ 4381.2010.1).

Список литературы

1. Уайт Дж.Э. Возбуждение и распространение сейсмических волн. М.: Недра, 1986. 261 с.
2. Chao G., Smeulders D.M.J., van Dongen M.E.H. // J. Acoust. Soc. Am. 2004. V. 116(2). P. 693–702.
3. Hassan W., Nagy P. // J. Acoust. Soc. Am. 1997. V. 102(6). P. 3343–3348.

4. Hsu C.J., Kostek S., Johnson D.L. // J. Acoust. Soc. Am. 1997. V. 102(6). P. 3277–3289.
5. Liu H.-L. // J. Acoust. Soc. Am. 1988. V. 84(1). P. 424–431.
6. Norris A.N. // Geophysics. 1989. V. 54, No 3. P. 330–341.
7. Norris A.N. // J. Acoust. Soc. Am. 1990. V. 87(1). P. 414–417.
8. Paillet F.L., White J.E. // Geophysics. 1982. V. 47, No 8. P. 1215–1228.
9. Tang X.M., Cheng, C.H., Toksoz M.N. // J. Acoust. Soc. Am. 1991. V. 90(3). P. 1632–1646.
10. Winkler K.W., Liu H.-L., Johnson D.L. // Geophysics. 1989. V. 54, No 1. P. 66–75.
11. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. Ч.1. М.: Наука, 1987. 464 с.
12. Губайдуллин А.А., Болдырева О.Ю. // Акустический журнал. 2006. Т. 52, №2. С. 201–211.
13. Губайдуллин А.А., Болдырева О.Ю. Волны на поверхности раздела насыщенной пористой среды и жидкости // Докл. РАН. 2006. Т. 409, №3.
14. Рихтмайер Р., Мортон К. Разностные методы решения краевых задач. М.: Мир, 1972.
15. Губайдуллин А.А., Дудко Д.Н., Урманчев С.Ф. // Вычислительные технологии. 2001. Т. 6, №3. С. 7–20.

WAVE PROPAGATING ALONG A CYLINDRICAL BORE IN A LIQUID SATURATED POROUS MEDIUM

A.A. Gubaidullin, O.Yu. Boldyreva

Wave propagation along a cylindrical bore in permeable liquid-saturated porous medium is investigated. The cases of Newtonian and non-Newtonian power law liquid in porous medium are considered. It is shown that there are the smaller attenuation and the larger depth of penetration of perturbation for the pseudo-plastic liquid than for the dilatant liquid.

Keywords: porous medium, non-newtonean liquid, perturbation.